第46卷 第1期
2023年1月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 46 No. 1
Jan. 2023

1961—2020年青海高原日照时数时空变化特征

周 丹[1,2]， 保广裕[2]， 苏献锋[2]， 王 力[3]， 李宝华[2]

（1. 青海省防灾减灾重点实验室，青海 西宁 810001；2. 青海省气象服务中心，青海 西宁 810001；
3. 青海省气象干部培训学院，青海 西宁 810001）

摘 要：太阳辐射是地球系统的主要能源，与人类的生活密切相关。通过选取青海高原50个气象观测站点1961—2020年逐月日照时数数据，分析了青海高原整体、不同纬度地区、不同海拔高度地区日照时数时空变化特征。结果表明：（1）1961—2020年青海高原年日照时数呈显著降低趋势，且在2004年发生突变降低。从空间分布来看，除南部个别站点日照时数持平或略微增加外，其余地区年日照时数均呈显著降低趋势，其中柴达木地区和东部农业区降低趋势最显著。（2）青海高原高纬度地区年日照时数降低趋势显著大于低纬度地区。春季不同纬度地区日照时数变化趋势均较小，夏季和冬季纬度相对较高地区日照时数减少趋势显著大于纬度较低地区，秋季纬度较低和纬度较高地区日照时数减少趋势显著大于中纬度地区。（3）青海高原海拔相对较低地区年日照时数降低趋势显著大于海拔相对较高地区。春季不同海拔高度地区日照时数变化趋势均较小，基本持平或略微减少，夏季和冬季海拔相对较低地区日照时数减少趋势显著大于海拔较高地区，秋季不同海拔高度日照时数均呈减少趋势，但是减少趋势显著性状况差异较大。

关 键 词：青海高原；日照时数；时空变化特征；Mann-Kendall突变

文章编号：1000－6060(2023)01－0036－11(0036～0046)

近百年来，全球气候经历了显著的变暖趋势。气候系统的多种指标和观测表明，全球变暖趋势仍在持续。IPCC第五次评估报告显示，1880—2012年全球地表平均温度升高了约0.85 ℃[1-2]。全球变暖导致气候因素发生变化，太阳辐射是地球系统的主要能源，与人类的生活密切相关，是重要的气候因素之一[3-5]。日照时数是表征太阳辐射的特征量，它不仅与地理参数有关，还受太阳常数、云量、水汽和大气气溶胶等多种因素的影响[6-8]。在全球变暖背景下，探索和研究日照时数的时空变异性和影响因素对人类的工农业活动具有重要意义，并可为地球系统科学研究提供参考。

Stanhill等[9]对全球1951—2000年太阳辐射变化进行了分析，研究发现到达地球表面的太阳辐射显著减少，全球每年平均减少0.46~0.56 W·m^{-2}，导致太阳辐射减少的最有可能因素是气溶胶和空气污染的影响。中国学者就不同区域日照时数变化特征及其影响因子也进行了大量的研究。中国气象局气候变化中心[10]分析发现，1961—2019年中国平均年日照时数呈显著减少趋势，平均减少变化率为32.8 h·(10a)$^{-1}$。肖风劲等[11]基于中国2089个气象站1961—2017年观测数据，分析了中国不同区域日照时数时空变化特征及影响因素，结果表明中国日照时数呈显著减少趋势，西南地区在1989年发生突变，西北地区在1983年发生突变，东北地区在1985年发生突变，其他地区未发生突变。周晓宇等[12]根据1961—2009年东北地区104个气象站点观测数据，研究了东北地区日照时数月、季、年的时空变化特征，研究结果表明日照时数呈显著减少趋势，平均减少变化率为40.5 h·(10a)$^{-1}$。戴声佩等[13]利用华南地区1960—2011年101个时间序列较长的气象台站地面观测资料，分析了华南地区光能、热量和

收稿日期：2022-05-19； **修订日期：**2022-07-18
基金项目：青海省防灾减灾重点实验室开放基金项目（KFZ-2021-Z13）；国家自然科学基金项目（42165014）资助
作者简介：周丹（1989-），男，博士研究生，工程师，主要从事专业气象预报服务研究. E-mail: www.zhoudan.6666@163.com
通讯作者：保广裕（1967-），男，本科，正研，主要从事专业气象预报服务研究. E-mail: 985022892@qq.com

水分等农业气候资源的时空变化特征，结果表明1961—2011年华南地区年总辐射量呈现“U”字型变化趋势，日照时数呈减少趋势，平均减少变化率为40.2 h·(10a)$^{-1}$。陈少勇等[14]利用中国西北地区135个测站1961—2007年1—12月日照时数资料，分析了47 a来西北地区日照时数的时空分布特征及其变化规律，结果发现1961—2007年西北地区大部分地方日照时数显著减少，区域平均减少变化率为19.92 h·(10a)$^{-1}$，相对湿度增加，云量增多，是造成日照减少的主要原因。

青海高原位于青藏高原东北部，是“国家公园省”和“中华水塔”。境内地形复杂多样，海拔高度在1500~6000 m之间，纬度跨越7个纬度带。青海高原日照时间长，太阳能资源丰富，是国家重要的清洁能源产业基地。2021年3月，习近平总书记参加十三届人大四次会议青海代表团审议时强调，要结合青海优势和资源，打造国家清洁能源产业高地。同年7月，省政府和国家能源局联合印发《青海打造国家清洁能源产业高地行动方案》[15]，旨在为如期实现碳达峰、碳中和目标做出青海贡献。因此，青海高原日照时数变化引起众多学者的关注。付建新等[16]分析了祁连山地区1960—2014年日照时数变化特征，结果表明多年平均日照时数整体上表现出下降态势。而何小武等[17]分析了1961—2016年黄河源头地区日照时数变化特征，结果表明近56 a黄河源头地区日照时数以26.0 h·(10a)$^{-1}$的速率增加。学者们的研究结果表明，青海高原不同特征区域日照时数变化特征不尽相同。

基于此，本文通过选取青海高原50个气象观测站点1961—2020年逐月日照时数数据及相关气象要素资料，分析了青海高原整体、不同纬度地区、不同海拔高度地区日照时数时空变化特征，旨在为认识青海高原气候资源变化提供科学依据，为合理农牧业生产布局、清洁能源开发等提供科学参考。

1 研究区概况

青海高原(89°35′~103°04′E，31°09′~39°19′N)位于青藏高原东北部，东西长约1200 km，南北宽约800 km，是黄河、长江和澜沧江的发源地，也是“国家公园省”和“中华水塔”(图1)。境内地形复杂多样，海拔高度在1500~6000 m之间，全境87%以上的土地海拔在3000 m以上。按照地理单元，青海高原可分为柴达木地区、环湖地区、东部农业区和青南牧区。青海高原远离海洋，降水量地区差异大，年平均降水量在100~550 mm之间，年平均气温在−5.0~9.0 ℃之间，是典型的高原大陆性气候[18]。青海高原地处中纬度地带，日照时数长，辐射能力强，年总辐射量可达690.8~753.6 kJ·cm^{-2}，直接辐射量占辐射量的60%以上。

2 数据与方法

日照时数是指太阳每天在垂直于其光线的平面上辐射强度超过或等于120 W·m^{-2}的时间长度。日照时数的变化除了受大范围气候变化的影响外，还受到局地大气环境和人为因素的影响[19]。

选取青海高原50个气象观测站点1961—2020年逐月日照时数数据。数据来源于中国气象科学数据共享服务网。由于各种人为因素，数据资料存在非均一性现象，因此对50个气象观测站点数据资料中的明显断点选用SNHT气候资料检验和订正方法进行了排查，并根据排查结果进行了订正。数据序列的断点不仅与气候资料的非均一性有关，也可能是气候突变信号的反映。通过计算待检序列和距离较近、相关较大的参考序列的比值或差值序列不仅可以检验序列中的断点，还提供了对资料的订正方法。数据序列的检验主要包括差值法和比值法，非均一数据序列的订正主要采用相关系数订正[20]。经过订正处理后的50个气象观测站点的要素资料具有较好的连续性。

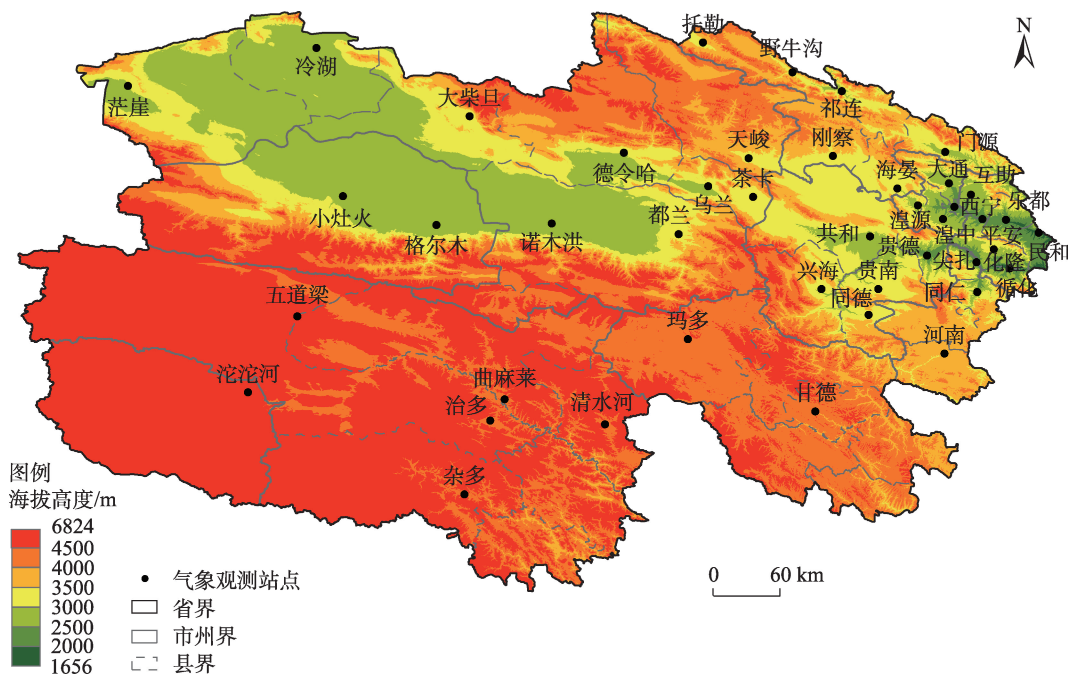
依据研究所需，青海高原50个气象观测站点按照纬度划分为7个纬度带，按照海拔高度划分为7个海拔高度带，50个站点划分详情见表1。

Mann-Kendall检验方法是一种广泛应用于径流、气候、水文序列等趋势分析和显著性检验的非参数统计检验方法[21-23]，其优点是既不需要时序遵循特定分布，也不受少数异常值的干扰，而且可以明确突变开始的时间和突变区域[24]，本研究主要基于Mann-Kendall方法进行突变检验。

3 结果与分析

3.1 青海高原日照时数整体变化特征

采用气候倾向率方法对1961—2020年青海高原日照时数变化趋势(图2)分析看出，青海高原日



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2017)3320号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1 青海高原气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Qinghai Province

表1 青海高原气象站点纬度带和海拔高度带划分

Tab. 1 Division of latitude and elevation bands of meteorological stations in Qinghai Plateau

纬度分带/°N	气象站点数/个	海拔高度分带/m	气象站点数/个
32~33	4	2000以下	2
33~34	5	2000~2500	8
34~35	5	2500~3000	13
35~36	8	3000~3500	12
36~37	18	3500~4000	7
37~38	5	4000~4500	6
38~39	5	4500以上	2

照时数呈显著降低趋势，变化率为−30.1 h·(10a)$^{-1}$，通过0.01显著性检验。从年代际变化来看，1961—1970年、1971—1980年、1981—1990年、1990—2000年青海高原日照时数基本保持在2765.0~2805.0 h·a^{-1}之间，年代变化率分别为0.9%、−0.9%、−0.4%，年代际变化较小。从2000—2010年开始青海高原日照时数快速降低，2000—2010年平均日照时数为2713.8 h·a^{-1}，2011—2020年降低为2621.9 h·a^{-1}，年代变化率分别为−1.9%、3.4%，年代际变化显著(图2)。

由1961—2020年青海高原日照时数变化率分布(图3)可见，1961—2020年青海高原除南部个别站点日照时数持平或略微增加外，其余地区日照时数均呈显著降低趋势，其中柴达木地区和东部农业区降低趋势最显著。东部农业区的西宁降低趋势最显著，变化率为−65.0 h·(10a)$^{-1}$，此外东部农业区的民和、乐都、柴达木盆地的诺木洪、小灶火、茫崖、德令哈、冷湖、都兰的变化率均达到−50.0 h·(10a)$^{-1}$以上。

由Mann-Kendall突变检验对1961—2020年青海高原日照时数进行的突变分析(图4)可见，UF和UB曲线相交于2004年(r=0.05)，结合滑动T检验分析发现，青海高原1961—2020年日照时数在2004年通过检验，表明青海高原日照时数在2004年发生突变降低。突变前的1961—2004年青海高原日照时数平均为2778.7 h·a^{-1}，突变后的2005—2020年青海高原日照时数平均为2646.6 h·a^{-1}，变化率达到了−4.6%。

华维等[25]研究发现，1973—2007年除青海南部部分地区日照时数呈增加趋势外，其余地区均呈显著减少趋势。杜军等[26]研究发现，1971—2019年羌塘国家级自然保护区年日照时数显著减少，平均每10 a减少22.8 h，以夏季减少最为明显。自20世纪

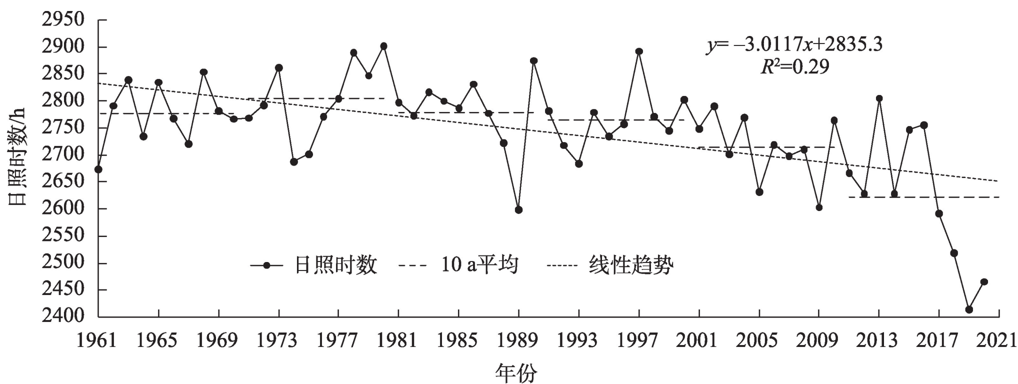


图2　1961—2020年青海高原日照时数变化趋势

Fig. 2　Variation trend of sunshine hours in Qinghai Plateau from 1961 to 2020

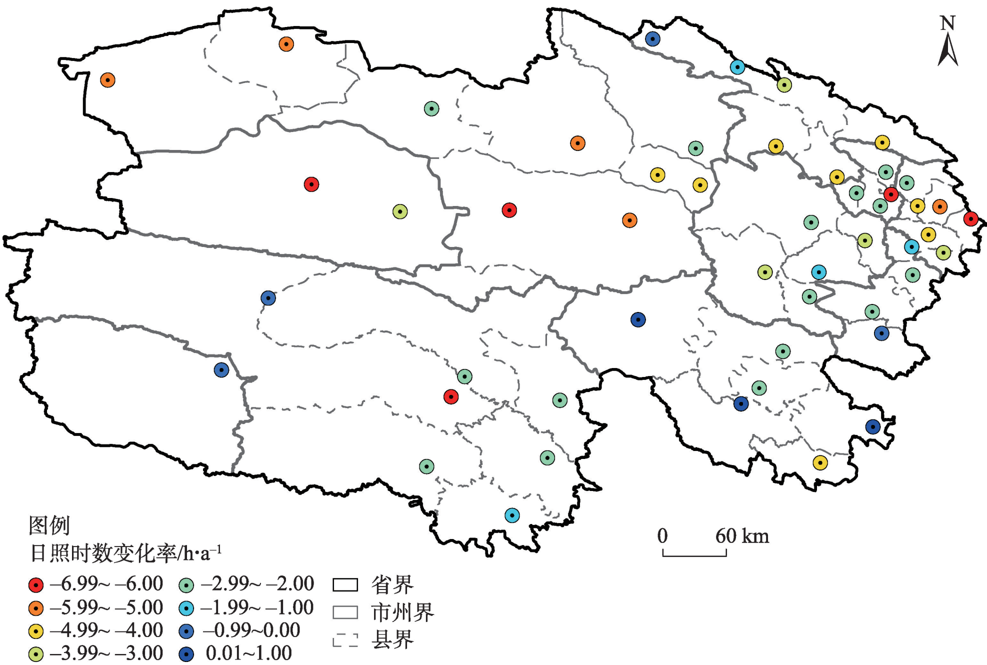


图3　1961—2020年青海高原日照时数变化率空间分布

Fig. 3　Spatial distribution of the change rate of sunshine hours in Qinghai Plateau from 1961 to 2020

90年代以来，四季日照时数均呈明显减少趋势，仍以夏季减幅最大。这些研究结论均与本文研究结果高度一致。

3.2　青海高原不同纬度地区日照时数变化特征

3.2.1　不同纬度地区日照时数年际变化特征　青海高原50个气象观测站点按照纬度划分为7个纬度带，每个纬度带间隔1°(表2)。采用气候倾向率方法对1961—2020年青海高原不同纬度地区日照时数变化趋势分析(图2)可见，高纬度地区日照时数降低趋势显著大于低纬度地区。7个纬度带日照时数变化率分别为−2.72 h·a^{-1}、−0.52 h·a^{-1}、−1.13 h·a^{-1}、−2.16 h·a^{-1}、−3.84 h·a^{-1}、−3.81 h·a^{-1}和−3.28 h·a^{-1}，除33°~34°N、34°~35°N 2个纬度带变化率未通过显著性检验外，其余纬度带变化率均通过0.01显著性检验。

由Mann-Kendall突变检验对1961—2020年青海高原不同纬度带日照时数进行的突变分析(图5)可见，32°~33°N、35°~36°N、36°~37°N、37°~38°N、38°~39°N纬度带的Mann-Kendall突变检验UF和UB曲线分别相交于1986、2016、1999、2000、1990年(r=0.05)。结合滑动T检验分析发现，35°~36°N纬度带未在2016年通过检验，故表明其未发生突变。32~

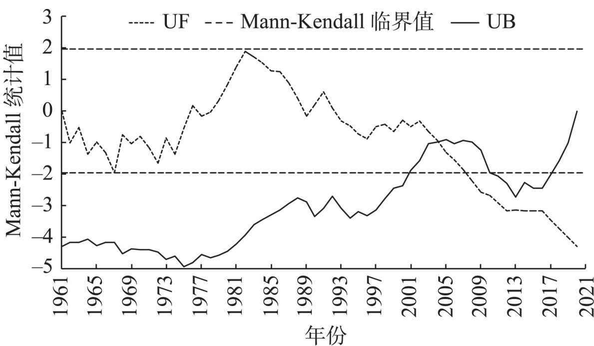


图4 1961—2020年青海高原日照时数Mann-Kendall突变检验

Fig. 4 Mann-Kendall mutation test of sunshine hours in Qinghai Plateau from 1961 to 2020

表2 1961—2020年青海高原不同纬度地区日照时数变化倾向

Tab. 2 Variation trend of sunshine hours in different latitudes of Qinghai Plateau from 1961 to 2020

纬度分带/°N	变化率/h·a⁻¹	R^2
32~33	−2.72**	0.180
33~34	−0.52	0.005
34~35	−1.13	0.029
35~36	−2.16**	0.116
36~37	−3.84**	0.384
37~38	−3.81**	0.410
38~39	−3.28**	0.348

注:*、**分别表示通过0.05、0.01显著性检验;R^2为拟合优度。下同。

33°N、36~37°N、37°~38°N、38°~39°N纬度带分别在1986、1999、2000、1990年通过滑动*T*检验,表明32~33°N、36°~37°N、37°~38°N、38°~39°N纬度带日照时数分别在1986、1999、2000、1990年发生突变降低。32°~33°N纬度带突变前的1961—1986年青海高原日照时数平均为2496.2 h·a^{-1},突变后的1987—2020年青海高原日照时数平均为2399.2 h·a^{-1},变化率达到了−3.9%。36°~37°N纬度带突变前的1961—1999年青海高原日照时数平均为2843.4 h·a^{-1},突变后的1999—2020年青海高原日照时数平均为2718.6 h·a^{-1},变化率达到了−4.4%。37°~38°N纬度带突变前的1961—2000年青海高原日照时数平均为2997.4 h·a^{-1},突变后的2000—2020年青海高原日照时数平均为2855.2 h·a^{-1},变化率达到了−4.7%。38°~39°N纬度带突变前的1961—1990年青海高原日照时数平均为3088.1 h·a^{-1},突变后的1991—2020年青海高原日照时数平均为2964.1 h·a^{-1},变化率达到了−4.0%。

3.2.2 不同纬度地区日照时数季节变化特征

采用气候倾向率方法对1961—2020年青海高原不同纬度地区日照时数季节变化趋势分析(表3)可见,春季不同纬度地区日照时数变化趋势均较小,除32°~33°N、37°~38°N纬度带日照时数呈显著减少趋势外,其余纬度带日照时数基本持平或略微减少。夏季纬度相对较高地区日照时数减少趋势显著大于纬度较低地区,35°N以上4个纬度带夏季日照时数变化率分别为−0.38 h·a^{-1}、−0.59 h·a^{-1}、−0.64 h·a^{-1}和−0.59 h·a^{-1},且均通过了0.01显著性检验,而35°N以下3个纬度带夏季日照时数变化率分别为−0.21 h·a^{-1}、−0.06 h·a^{-1}和−0.21 h·a^{-1},均未通过显著性检验。秋季不同纬度带日照时数均呈减少趋势,但是减少趋势显著性状况差异较大,纬度较低和纬度较高地区日照时数减少趋势显著大于中纬度地区,34°N以下纬度带减少变化率均通过了0.05显著性检验,36°N以上纬度带带减少变化率均通过了0.01显著性检验,其余纬度带减少变化率均未通过显著性检验。冬季不同纬度地区日照时数变化趋势与夏季基本一致,纬度相对较高地区日照时数减少趋势显著大于纬度较低地区,36°~37°N、37°~38°N纬度带冬季日照时数变化率分别为−0.33 h·a^{-1}、−0.22 h·a^{-1},且均通过了0.01显著性检验,35°~36°N纬度带减少变化率通过了0.05显著性检验,35°N以下纬度带呈略微减少或增加趋势,且均未通过显著性检验。杜军等[26]研究发现,1971—2019年羌塘国家级自然保护区年日照时数显著减少,平均每10 a减少22.8 h,以夏季减少最为明显。自20世纪90年代以来,四季日照时数均呈明显减少趋势,仍以夏季减幅最大,该研究结论与本文研究结果高度一致。

3.3 青海高原不同海拔高度地区日照时数变化特征

3.3.1 不同海拔高度地区日照时数年际变化特征

青海高原50个气象观测站点按照海拔高度划分为7个海拔高度带,每个海拔高度间隔500 m(表4)。采用气候倾向率方法对1961—2020年青海高原海拔高度地区日照时数变化趋势分析看出(图6),海拔相对较低地区日照时数降低趋势显著大于海拔相对较高地区。7个海拔高度带日照时数变化率分别为−4.60 h·a^{-1}、−3.28 h·a^{-1}、−4.19 h·a^{-1}、−2.43 h·a^{-1}、−1.70 h·a^{-1}、−2.23 h·a^{-1}和−2.23 h·a^{-1},除4500 m以上海拔高度带变化率未通过显著性检验外,其余海拔高度带变化率均通过0.05显著性检验,其中2000 m

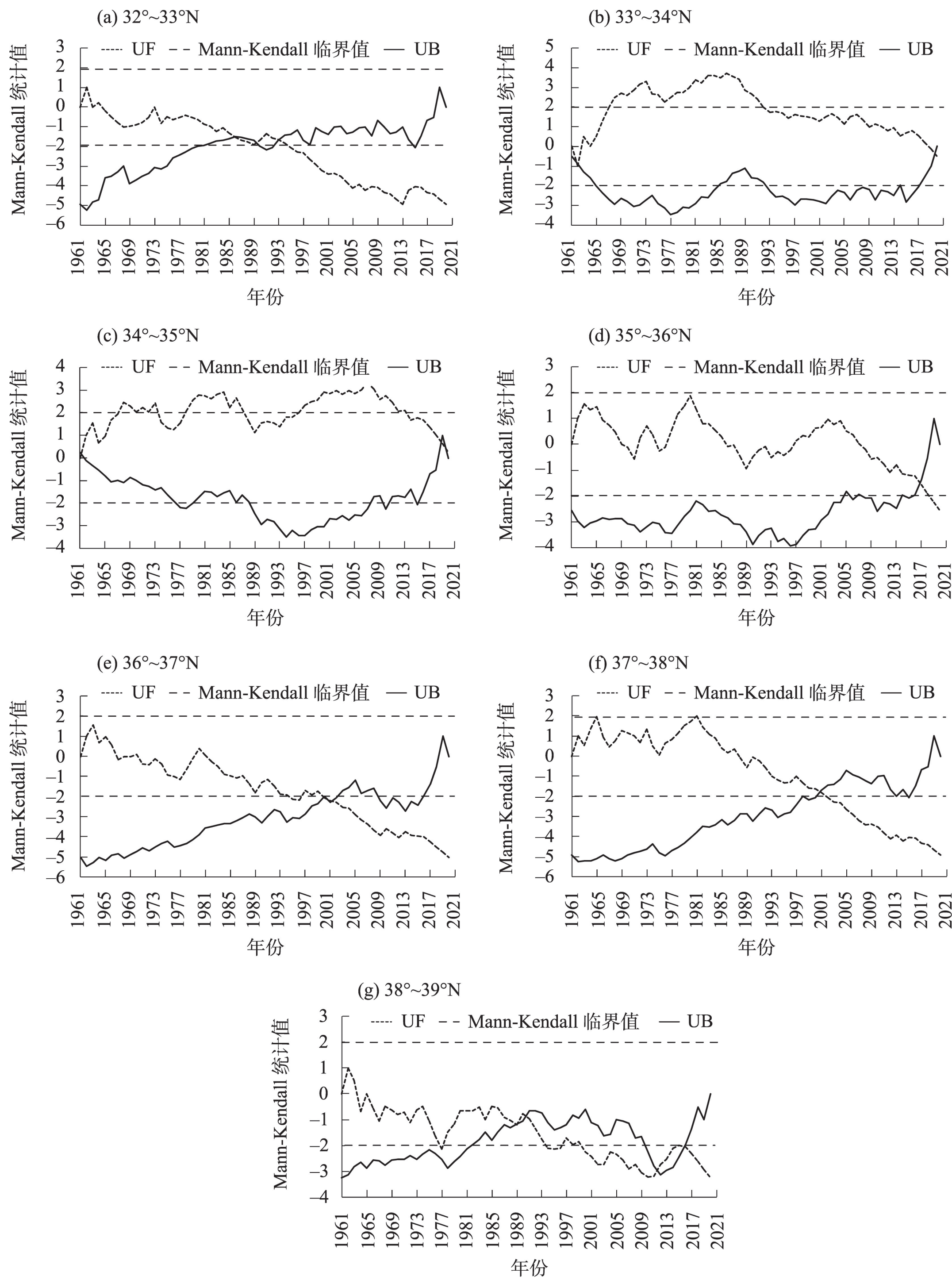


图5　1961—2020年青海高原不同纬度地区日照时数Mann-Kendall突变检验

Fig. 5　Mann-Kendall mutation test of sunshine hours in different latitudes of Qinghai Plateau from 1961 to 2020

以下、2000~2500 m、2500~3000 m、3000~3500 m均通过了0.01显著性检验。

由Mann-Kendall突变检验对1961—2020年青海高原不同海拔高度带日照时数进行的突变分析(图6)可见，2000 m以下、2500~3000 m、3000~3500 m、3500~4000 m、4000~4500 m、4500 m以上海拔高度带的Mann-Kendall突变检验UF和UB曲线分别相交于1999、2004、2017、2018、2017、2018年(r=0.05)。结合滑动T检验分析发现，3000~3500 m、3500~4000 m、4000~4500 m、4500 m以上海拔高度带均未在2017年和2018年通过检验，故表明其未发生突变。2000 m以下、2500~3000 m海拔高度带

表3 1961—2020年青海高原不同纬度地区日照时数季节变化倾向

Tab. 3 Seasonal variation trend of sunshine hours in different latitudes of Qinghai Plateau from 1961 to 2020

纬度分带/°N	春季变化率/h·a^{-1}	夏季变化率/h·a^{-1}	秋季变化率/h·a^{-1}	冬季变化率/h·a^{-1}
32~33	−0.24**	−0.21	−0.37**	−0.08
33~34	0.01	−0.06	−0.25*	−0.02
34~35	−0.06	−0.21	−0.17	0.04
35~36	−0.01	−0.38**	−0.20	−0.16*
36~37	−0.11	−0.59**	−0.29**	−0.33**
37~38	−0.16*	−0.64**	−0.27**	−0.22**
38~39	−0.11	−0.59**	−0.24**	−0.18*

表4 1961—2020年青海高原不同海拔高度地区日照时数变化倾向

Tab. 4 Variation trend of sunshine hours in different altitude areas of Qinghai Plateau from 1961 to 2020

海拔高度分带/m	变化率/h·a^{-1}	R^2
2000以下	−4.60**	0.348
2000~2500	−3.28**	0.281
2500~3000	−4.19**	0.476
3000~3500	−2.43**	0.194
3500~4000	−1.70*	0.078
4000~4500	−2.23*	0.096
4500以上	−2.23	0.006

分别在1999年和2004年通过滑动*T*检验，表明2000 m以下、2500~3000 m海拔高度带日照时数分别在1999年和2004年发生突变降低。2000 m以下突变前的1961—1999年青海高原日照时数平均为2595.5 h·a^{-1}，突变后的2000—2020年青海高原日照时数平均为2461.0 h·a^{-1}，变化率达到了−5.2%。2500~3000 m突变前的1961—2004年青海高原日照时数平均为2976.8 h·a^{-1}，突变后的2005—2020年青海高原日照时数平均为2817.8 h·a^{-1}，变化率达到了−5.3%。

3.3.2 不同海拔高度地区日照时数季节变化特征

采用气候倾向率方法对1961—2020年青海高原不同海拔高度地区日照时数季节变化趋势分析(表5)可见，春季不同海拔高度地区日照时数变化趋势均较小，基本持平或略微减少，除2500~3000 m海拔高度减少趋势通过0.05显著性检验外，其余海拔高度带变化趋势均未通过显著性检验。夏季海拔相对较低地区日照时数减少趋势显著大于海拔较高地区，3500 m以下4个海拔高度带夏季日照时数变化率分别为−0.53 h·a^{-1}、−0.45 h·a^{-1}、−0.69 h·a^{-1}和−0.40 h·a^{-1}，且均通过了0.01显著性检验，而3500 m以上3个海拔高度带夏季日照时数变化率分别为−0.18 h·a^{-1}、−0.25 h·a^{-1}和−0.33 h·a^{-1}，但均未通过显著性检验。秋季不同海拔高度带日照时数均呈减少趋势，但是减少趋势显著性状况差异较大，2000 m以下、2500~3000 m、3500~4000 m、4000~4500 m 4个海拔高度带减少变化率均通过了0.01显著性检验，2000~2500 m海拔高度带减少变化率通过了0.05显著性检验，其余海拔高度带减少变化率未通过显著性检验。冬季不同海拔高度地区日照时数变化趋势与夏季基本一致，海拔相对较低地区日照时数减少趋势显著大于海拔较高地区，3000 m以下3个海拔高度带夏季日照时数变化率分别为−0.64 h·a^{-1}、−0.39 h·a^{-1}和−0.27 h·a^{-1}，且均通过了0.01显著性检验，3000~3500 m海拔高度带减少变化率通过了0.05显著性检验，3500 m以上海拔高度带呈略微减少或增加趋势，且均未通过显著性检验。杜军等[26]研究发现，1971—2019年羌塘国家级自然保护区年日照时数显著减少，平均每10 a减少22.8 h，以夏季减少最为明显。自20世纪90年代以来，四季日照时数均呈明显减少趋势，仍以夏季减幅最大，该研究结论与本文研究结果高度一致。

4 结 论

本文通过选取青海高原50个气象观测站点1961—2020年逐月日照时数数据及相关气象要素资料，分析了青海高原整体、不同纬度地区、不同海拔高度地区日照时数时空变化特征，主要得到以下结论：

(1) 1961—2020年青海高原年日照时数呈显著降低趋势，变化率为−30.1 h·(10a)$^{-1}$，且在2004年发

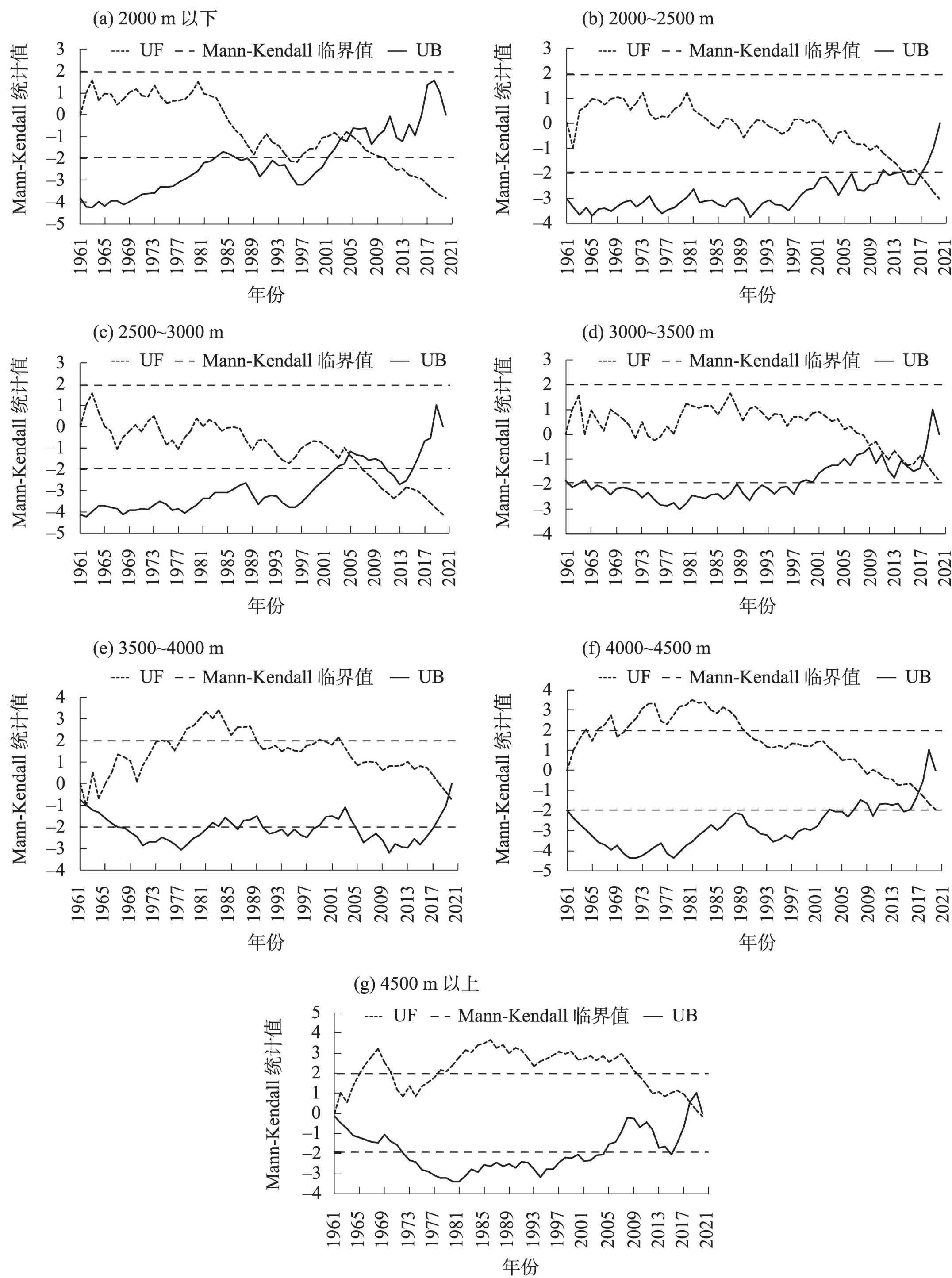


图6　1961—2020年青海高原不同海拔高度地区日照时数Mann-Kendall突变检验

Fig. 6　Mann-Kendall mutation test of sunshine hours in different altitude areas of Qinghai Plateau from 1961 to 2020

生突变降低。突变前青海高原年日照时数平均为2778.7 h·a^{-1},突变后平均为2646.6 h·a^{-1},变化率达到了-4.6%。从空间分布来看,除南部个别站点日照时数持平或略微增加外,其余地区年日照时数均呈显著降低趋势,其中柴达木地区和东部农业区降低趋势最显著。

(2) 青海高原高纬度地区年日照时数降低趋势显著大于低纬度地区。32°~33°N、36°~37°N、37°~38°N、38°~39°N纬度带年日照时数分别在1986、1999、2000、1990年发生突变降低。从日照时数季节变化来看,春季不同纬度地区日照时数变化趋势均较小;夏季纬度相对较高地区日照时数减少趋势

表5 1961—2020年青海高原不同海拔高度地区日照时数季节变化倾向

Tab. 5 Seasonal variation trend of sunshine hours in different altitude areas of Qinghai Plateau from 1961 to 2020

海拔高度分带/m	春季变化率/h·a^{-1}	夏季变化率/h·a^{-1}	秋季变化率/h·a^{-1}	冬季变化率/h·a^{-1}
2000以下	−0.08	−0.53**	−0.38**	−0.64**
2000~2500	0.01	−0.45**	−0.27*	−0.39**
2500~3000	−0.17*	−0.69**	−0.32**	−0.27**
3000~3500	−0.03	−0.40**	−0.15	−0.17*
3500~4000	−0.10	−0.18	−0.24**	−0.06
4000~4500	−0.17	−0.25	−0.34**	−0.04
4500以上	0.08	−0.33	−0.23	0.18

显著大于纬度较低地区;秋季不同纬度带日照时数均呈减少趋势,但是减少趋势显著性状况差异较大,纬度较低和纬度较高地区日照时数减少趋势显著大于中纬度地区;冬季不同纬度地区日照时数变化趋势与夏季基本一致,纬度相对较高地区日照时数减少趋势显著大于纬度较低地区。

(3)青海高原海拔相对较低地区年日照时数降低趋势显著大于海拔相对较高地区。2000 m以下、2500~3000 m海拔高度带年日照时数分别在1999年和2004年发生突变降低。从日照时数季节变化来看,春季不同海拔高度地区日照时数变化趋势均较小,基本持平或略微减少;夏季海拔相对较低地区日照时数减少趋势显著大于海拔较高地区;秋季不同海拔高度带日照时数均呈减少趋势,但是减少趋势显著性状况差异较大;冬季不同海拔高度地区日照时数变化趋势与夏季基本一致,海拔相对较低地区日照时数减少趋势显著大于海拔较高地区。

参考文献(References)

[1] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

[2] 周波涛. 全球气候变暖: 浅谈从AR5到AR6的认知进展[J]. 大气科学学报, 2021, 44(5): 667−671. [Zhou Botao. Global warming: Scientific progress from AR5 to AR6[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2021, 44(5): 667−671.]

[3] Chang Z G, Chen Y X, Zhao Y K, et al. Association of sunshine duration with acute myocardial infarction hospital admissions in Beijing, China: A time-series analysis within-summer[J]. Science of the Total Environment, 2022, 828: 154528−154528.

[4] Song L B, Jin J M. Effects of sunshine hours and daily maximum temperature declines and cultivar replacements on maize growth and yields[J]. Agronomy, 2020, 10(12): 1862−1862.

[5] 白慧敏, 龚志强, 孙桂全, 等. 气象要素对华北地区夏季植被覆盖度的影响[J]. 大气科学, 2022, 46(1): 27−39. [Bai Huimin, Gong Zhiqiang, Sun Guiquan, et al. Influence of meteorological elements on summer vegetation coverage in North China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2022, 46(1): 27−39.]

[6] Xiong J H, Wang Z L, Lai C G. Spatiotemporal variability of sunshine duration and influential climatic factors in China's mainland during 1959—2017[J]. International Journal of Climatology, 2020, 40(15): 6282−6300.

[7] 刘卫平, 魏文寿, 唐湘玲. 阿克苏地区近45年日照时数变化特征[J]. 干旱区地理, 2008, 31(2): 197−202. [Liu Weiping, Wei Wenshou, Tang Xiangling. Variation of sunshine hour in recent 45 years in Aksu Prefecture[J]. Arid Land Geography, 2008, 31(2): 197−202.]

[8] Li J, Wang Z L, Lai C G. Severe drought events inducing large decrease of net primary productivity in mainland China during 1982—2015[J]. Science of the Total Environment, 2020, 703: 135541, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135541.

[9] Stanhill G, Cohen S. Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 107(4): 255−278.

[10] 中国气象局气候变化中心. 中国气候变化蓝皮书2020[M]. 北京: 科学出版社, 2020. [CMA Climate Change Centre. Blue book on climate change in China 2020[M]. Beijing: Science Press, 2020.]

[11] 肖风劲, 张旭光, 廖要明, 等. 中国日照时数时空变化特征及其影响分析[J]. 中国农学通报, 2020, 36(20): 92−100. [Xiao Fengjin, Zhang Xuguang, Liao Yaoming, et al. Sunshine duration in China: Variation characteristics and its influence[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(20): 92−100.]

[12] 周晓宇, 张新宜, 崔妍, 等. 1961—2009年东北地区日照时数变化特征[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(5): 112−120. [Zhou Xiaoyu, Zhang Xinyi, Cui Yan, et al. The characteristics of sunshine duration from 1961 to 2009 in northeast China[J]. Journal of Meteorolo-

gy and Environment, 2013, 29(5): 112-120.]

[13] 戴声佩, 李海亮, 刘海清, 等. 全球气候变暖背景下华南地区农业气候资源时空变化特征[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(1): 52-60. [Dai Shengpei, Li Hailiang, Liu Haiqing, et al. The spatio-temporal change characteristics of agriculture climate resources in southern China under the background of global warming[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2014, 35(1): 52-60.]

[14] 陈少勇, 张康林, 邢晓宾, 等. 中国西北地区近47 a日照时数的气候变化特征[J]. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1142-1152. [Chen Shaoyong, Zhang Kanglin, Xing Xiaobin, et al. Climatic change of sunshine duration in northwest China during the last 47 year[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(7): 1142-1152.]

[15] 解丽娜.《青海打造国家清洁能源产业高地行动方案》内容摘要[N]. 青海日报, 2021-07-14(007). [Xie Lina. Content summary of “Qinghai action plan for building a national highland of clean energy industry”[N]. Qinghai Daily, 2021-07-14(007).]

[16] 付建新, 曹广超, 李玲琴, 等. 1960—2014年祁连山日照时数时空变化特征[J]. 山地学报, 2018, 36(5): 709-721. [Fu Jianxin, Cao Guangchao, Li Lingqin, et al. Temporal and spatial variation characteristics of sunlight hours in the Qilian Mountain, China from 1960 to 2014[J]. Mountain Research, 2018, 36(5): 709-721.]

[17] 何小武, 刘金青. 1961—2016年黄河源头地区日照时数变化特征分析[J]. 现代农业科技, 2018(12): 206-208. [He Xiaowu, Liu Jinqing. Analysis on variation characteristics of sunshine hours in the source area of the Yellow River from 1961 to 2016[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2018(12): 206-208.]

[18] 王莘. 青海省气候变化评估报告[M]. 北京: 气象出版社, 2012. [Wang Xin. Climate change assessment report of Qinghai Province[M]. Beijing: Meteorological Publishing House, 2012.]

[19] 蒋冲, 刘晓磊, 程楠楠, 等. 秦岭南北日照时数时空变化及突变特征[J]. 干旱区地理, 2013, 36(3): 416-424. [Jiang Chong, Liu Xiaolei, Cheng Nannan, et al. Spatial-temporal variations and mutations of sunshine hours in the northern and southern regions of the Qinling Mountains[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(3): 416-424.]

[20] 江志红, 黄群, 李庆祥. 近50年中国降水序列均一性检验与订正研究[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 67-74. [Jiang Zhihong, Huang Qun, Li Qingxiang. Study of precipitation series homogeneous adjustment and their correction over China in the last 50 years[J]. Climatic and Environmental Research, 2008, 13(1): 67-74.]

[21] Gan T Y. Hydroclimatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies[J]. Water Resource Research, 1998, 34(11): 3009-3015.

[22] 褚健婷, 夏军, 许崇育, 等. 海河流域气象和水文降水资料对比分析及时空变异[J]. 地理学报, 2009, 64(9): 1083-1092. [Chu Jianting, Xia Jun, Xu Chongyu, et al. Comparison and spatial-temporal variability of daily precipitation data of weather stations and rain gauges in Haihe River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(9): 1083-1092.]

[23] 周丹. 1961—2013年华北地区气象干旱时空变化及其成因分析[D]. 兰州: 西北师范大学, 2015. [Zhou Dan. Temporal and spatial changes and causes of meteorological drought in North China from 1961 to 2013[J]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2015.]

[24] 马柱国, 邵丽娟. 中国北方近百年干湿变化与太平洋年代际振荡的关系[J]. 大气科学, 2006, 30(3): 464-474. [Ma Zhuguo, Shao Lijuan. Relationship between dry/wet variation and the pacific decade oscillation in northern China during the last 100 years[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2006, 30(3): 464-474.]

[25] 华维, 董一平, 范广洲. 青藏高原年日照时数变化的时空特征[J]. 山地学报, 2010, 28(1): 21-30. [Hua Wei, Dong Yiping, Fan Guangzhou. The analysis of spatial and temporal characteristics of annual sunshine duration over Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(1): 21-30.]

[26] 杜军, 高佳佳, 次旺顿珠. 1971—2019年羌塘国家级自然保护区日照时数变化特征及其影响因素[J]. 太阳能学报, 2022, 43(2): 287-295. [Du Jun, Gao Jiajia, Ciwangdunzhu. Spatio-temporal change of sunshine duration and its influence factors in Chang Tang Nature Reserve of Tibet from 1971 to 2019[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2022, 43(2): 287-295.]

Spatiotemporal variation characteristics of sunshine hours in Qinghai Plateau from 1961 to 2020

ZHOU Dan[1,2], BAO Guangyu[2], SU Xianfeng[2], WANG Li[3], LI Baohua[2]

(1. Qinghai Provincial Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation, Xining 810001, Qinghai, China; 2. Qinghai Provincial Meteorological Service Center, Xining 810001, Qinghai, China; 3. Qinghai Provincial Meteorological Cadre Training College, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract: Solar radiation is the primary energy source of the earth's system and is closely related to human life. By selecting the monthly sunshine hour data of 50 meteorological observation stations in the Qinghai Plateau of China from 1961 to 2020, the spatiotemporal variation characteristics of sunshine hours in the Qinghai Plateau as a whole, different latitudes, and different altitudes were analyzed. The results are as follows: (1) The annual sunshine hours in the Qinghai Plateau exhibit a significant downward trend from 1961 to 2020, and a sudden decrease occurred in 2004. From the perspective of spatial distribution, the annual sunshine hours in other regions showed a significant decreasing trend except that the sunshine hours in some southern stations is flat or slightly increased. And the decreasing trend is most significant in Qaidam area and eastern agricultural area. (2) The decreasing trend of sunshine hours in high-latitude areas is significantly greater than that in low-latitude areas of the Qinghai Plateau. The variation trend of sunshine hours at different latitudes in spring is small. In summer and winter, the decreasing trend of sunshine hours at relatively high latitudes is significantly greater than that at low latitudes, and in autumn, the decreasing trend of sunshine hours at low and high latitudes is significantly greater than that at middle latitudes. (3) The decreasing trend of annual sunshine hours in relatively low-altitude areas of the Qinghai Plateau is significantly greater than that in relatively high-altitude areas. The change trend of sunshine hours at different altitudes in spring is small, flat, or slightly reduced. The decreasing trend of sunshine hours at relatively low altitudes is significantly greater than that at higher altitudes in summer and winter. The sunshine hours at different altitudes in autumn exhibit a decreasing trend, but there is a significant difference in the decreasing trend.

Key words: Qinghai Plateau; sunshine hours; spatiotemporal variation characteristics; Mann-Kendall mutation